

Efficient complex skill training into old age : exploring the benefits of cognitive load theory

Citation for published version (APA):

van Gerven, P. W. M. (2002). *Efficient complex skill training into old age : exploring the benefits of cognitive load theory*. [Doctoral Thesis, Maastricht University]. Universiteit Maastricht. <https://doi.org/10.26481/dis.20020621pg>

Document status and date:

Published: 01/01/2002

DOI:

[10.26481/dis.20020621pg](https://doi.org/10.26481/dis.20020621pg)

Document Version:

Publisher's PDF, also known as Version of record

Please check the document version of this publication:

- A submitted manuscript is the version of the article upon submission and before peer-review. There can be important differences between the submitted version and the official published version of record. People interested in the research are advised to contact the author for the final version of the publication, or visit the DOI to the publisher's website.
- The final author version and the galley proof are versions of the publication after peer review.
- The final published version features the final layout of the paper including the volume, issue and page numbers.

[Link to publication](#)

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal.

If the publication is distributed under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license above, please follow below link for the End User Agreement:

www.umlib.nl/taverne-license

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at:

repository@maastrichtuniversity.nl

providing details and we will investigate your claim.

Summary

The mainspring behind the present thesis is the broadly recognized notion of a fast-developing technological society, in which a large and growing part of the population is of advanced age. Research has shown that this development implies a growing interest in retraining, both in the professional and non-professional realm. Designing instructional material for elderly learners — that is, people aged sixty and over — requires special care, in particular when the goal is to master complex subject matter. Instructional strategies aimed at acquiring complex skills have already been developed and tested with children and relatively young adults. A theory promoting such strategies is cognitive load theory (CLT). In numerous studies, instructional designs springing from cognitive load theory have proven to be superior relative to conventional instructional designs. Elderly learners have never been a target group in these studies, however. This is considered a gap within CLT research. To fill the gap, it was attempted in this thesis to merge cognitive load theory with knowledge emerging from research on cognitive aging.

Cognitive load theory is an instructional theory, in which fundamental knowledge of cognitive psychology is used to devise instructional designs that stimulate an optimal use of the available cognitive resources. One such fundamental notion is that human processing capacity is limited. More specifically, human working memory is able to process about seven information units at the same time. Another important feature of working memory is that it interacts with a long-term store, in which information is not so much stored as a pile of independent information elements, but rather as clusters of elements that are strongly interrelated. An advantage of these clusters is that they are considered as a single element in working memory. In a manner of speaking, they increase the processing capacity of working memory. A final feature of working memory is that it consists of two independent, modality-specific 'slave' units — a visual and an auditory unit — which are mediated by a central executive. The central executive is responsible for the conscious processing of information from the modality-specific stores as well as from the long-term store.

These basic ideas about working memory were adopted by cognitive load theory by putting them in an educational context. Within cognitive load theory, complex skills are believed to consist of information elements that are highly interdependent. This inbuilt characteristic causes a high intrinsic cognitive load. In order to grasp a complex skill, it has to be stored in long-term memory as whole. For that purpose, however, it must

pass the narrow bridge of working memory. According to cognitive load theory, this can be achieved efficiently if working memory is not engaged in unnecessary activities. Unnecessary activities cause an extraneous cognitive load, which can obstruct a proper transfer of complex information from working memory to long-term memory. Instead, working memory has to engage in activities that assemble interdependent information elements into relevant clusters or schemata. Cognitive schemata are organized in such a way that they enable a person to solve problems of a particular category. The quality of a schema determines the range of problems a person can solve. That is, the richer a schema, the broader the range of problems a person can handle. Thus, an elaborate schema enables a person to tackle problems that deviate substantially from the problems he or she has seen during training. This phenomenon is called transfer. Moreover, cognitive schemata can get automated. The application of automated schemata require little conscious processing, which is a relieve for working memory. The load associated with the construction of such schemata is called germane cognitive load.

In a nutshell, cognitive load theory states that when dealing with complex material — which is material that imposes a high intrinsic cognitive load — it is essential to keep the extraneous level of load as low as possible and make the germane portion of load as high as possible, that is within the limits of working-memory capacity. In other words, cognitive load theory promotes instructional designs that prevent learners from getting involved in unnecessary mental activity and at the same time stimulate the learner to engage in mental activity that contributes to the construction of high-quality cognitive schemata.

In Chapter 1, this idea was transferred to the domain of cognitive aging. In this thesis, cognitive aging refers to changes of working memory in elderly people. In this light, the literature describes three phenomena. First, the processing capacity of working memory seems to decrease. Second, there is a general decrease of cognitive processing speed. Third, older people have difficulty inhibiting irrelevant information, which can impede the proper processing of task-relevant information. These changes limit the rate at which older people are able to learn new material. It appears that the narrow bridge of working memory has become even narrower in the elderly. In the first chapter, it was argued that cognitive load theory offers the strategies to effectively cope with the learning difficulties associated with these working-memory constraints. That is, because cognitive load theory is concerned with mental limitations and these limitations are especially observable in the elderly, it goes without saying that CLT-based instructional formats should be particularly helpful for this group of learners. After all, lowering the level of extraneous cognitive load produces a proportionally greater effect in an older person than in a young person.

This idea was tested in Chapters 2, 3, and 5, applying different CLT-based training designs.

In Chapter 2, the cognitive efficiency of training with worked examples was tested against the efficiency of training with conventional problems. Within cognitive load theory, worked examples can be considered the basic format of efficient complex skill training. In conventional instructional formats, studying worked examples takes a minor position relative to solving conventional training problems, which arises from the common-and-garden philosophy that “practice makes perfect.” Indeed, practice — in the conventional sense — eventually makes perfect, but it appears that this does not automatically hold for an early stage of learning. In an early stage of learning, appropriate cognitive schemata have not yet developed. Thus, when confronted with a new complex skill, learners have little information at their disposal that could help them tackle the problems in this novel area. As a result, they have to process all the details of the problem consciously, without being aided by existing schemata. In this situation, learners are inclined to apply a so-called means-ends strategy. A means-ends strategy involves both backward and forward processing. In the backward-processing phase, a ‘pyramid’ of goals and subgoals is constructed, starting at the top of the pyramid, which represents the main goal of the problem, and subsequently working through the subordinate layers, which represent the subgoals. This phase halts at a layer containing manageable subgoals. From that point on, the forward-processing phase begins. In this phase, the learner solves the subgoals in the lower layers and works forward via the higher-level subgoals to the main goal. The combination of backward and forward processing makes a means-ends strategy a capacity-demanding exercise. More importantly, only half of the exercise — the forward-processing phase — can be considered necessary. In the forward phase, problem states are associated with the operators that are necessary to advance into the next problem state and eventually into the goal state. This is exactly what novices should learn. By studying worked examples, learners are stimulated to exclusively expend their cognitive resources to forward processing. Thus, extraneous load (i.e., backward processing) is reduced and germane load (i.e., forward processing) is optimized. Therefore, studying worked examples should lead to better results in terms of cognitive load, schema construction, and transfer performance than solving conventional problems.

An experiment was conducted to test this hypothesis. Both young and elderly participants were trained in solving a computerized version of so-called water-jug problems. The goal of water-jug problems is to acquire a certain amount of water in a target jug by strategically pouring jugs of different sizes into each other. There was a handful of restrictions. First, there was a tap by means of which working jugs could be filled to the brim without overflowing. Second, if a jug was poured into a smaller one, pour-

ing stopped as soon as the latter was full; a residual remained in the former jug. The same held for a donating jug containing a residual of water that exceeded the spare capacity of a receiving jug. The residuals often were the basis for a solution. One half of both the young and the older participants were trained by solving four water-jug problems (i.e., the conventional condition). That is, they were confronted with the initial state of these problems and had to work their way to the goal states. The other half of the participants was confronted with a worked-out version of these same training problems. That is, they not only saw the initial state of the problems, but also the intermediate states that led to the goal state. The problem states were accompanied by explanatory text. After training, all participants were presented with a transfer test, containing both near- and far-transfer problems. The near-transfer problems were variations of the training problems. The far-transfer problems substantially deviated from the training problems and required additional reasoning. The results showed that the elderly experienced substantially less cognitive load in the worked-examples condition relative to the conventional condition. No performance differences were found between the training conditions. In other words, while the elderly in the worked-examples condition experienced less cognitive load, they achieved an equal performance level as the elderly participants in the conventional condition. It was concluded, therefore, that studying worked-examples is a more efficient means of training the elderly than solving conventional problems.

The efficiency of worked examples was further explored in Chapter 3. The starting point of this chapter was the notion that there are numerous ways of designing worked examples. One way is the use of multimedia, which enables an audiovisual presentation of the training material. An advantage of audiovisual presentation is that text can be removed from the visual material. Instead, textual material can be presented auditorily. In this format, the learner is not inclined to split his or her attention between text and the images. Thus, extraneous visual search is reduced to a minimum. Moreover, audiovisual material addresses both the visual and auditory components of working memory. Distribution of information over both components reduces the chances of overload in either component. The beneficial ratio between extraneous and germane cognitive load in multimedia-based worked examples should lead to lower levels of experienced cognitive load and advanced schema construction compared to both visual worked examples and conventional problems. Both young and older adults were trained with either conventional problems, purely visual worked examples, or multimedia-based worked examples. The results showed that multi-media-based worked examples are more efficient than conventional problems in that a lower level of training load leads to comparable transfer performance. However, no differences were found between either the conventional-problems condition and the visual worked-examples condition or

the visual worked-examples and multimedia-based worked-examples condition. Moreover, these effects were the same for the young and the elderly participants.

Chapter 5 describes an experiment that addresses some problems arising from the procedure of the experiment discussed in Chapter 3. First, in the previous experiment not only the number of modalities was changed (from one — only visual — to two: both visual and auditory), but also the pace of the worked examples. Where in Chapter 3 the visual worked examples were user-paced, the multimedia-based worked examples were system-paced. A second problem concerns the presentation format of the worked examples. Whereas in Chapter 3 the visual worked examples consisted of static images, the multimedia-based worked examples were presented in an animated format. A third problem arising the previous experiment concerned the cognitive-load measure. In the previous experiments, cognitive load was measured by means of a subjective rating scale, on which the participants were required to indicate their experienced level of cognitive load. Self ratings are known to be susceptible to all kinds of response biases, such as social desirability. This introduces a final problem, which concerns the rather low levels of cognitive load that were reported on these scales in either condition. If this phenomenon was not due to a response bias, the level of germane cognitive load was probably too low.

The experiment described in Chapter 5 addressed these hitches. First, the problem of pace control was resolved by making both the visual and bimodal worked examples system-paced. That is, the speed of presentation was the same in both conditions. Second, the problem of presentation format was resolved by presenting a series of non-dynamic images in both conditions. In the unimodal (i.e., visual) condition, explanatory text was imposed on the images. In the bimodal (i.e., audiovisual) condition, the same text was presented as narration. Third, the problem of self ratings was sidestepped by introducing an additional cognitive-load measure, which was a secondary-task paradigm. In this paradigm, the primary task (i.e., studying worked-out water-jug problems) is accompanied by a secondary task, which has a lower priority. The secondary task was the detection of a series of light signals, which were presented at random time intervals. As soon as the participants detected a signal, they had to push a response button. The idea behind this technique is that the response latencies of the secondary task give an indication of the load imposed by the primary task. That is, the more a participant is occupied by the primary task, the longer the response times. The problem of germane cognitive load, finally, was addressed by increasing the variability of the training problems. Increasing training variability promotes deeper processing. That is, if training problems are not clustered into groups of the same category, the learner is compelled to re-evaluate every training problem. This stimulates a more elaborate processing of every single problem and thus an in-

crease of cognitive load, which in its turn leads to better schema construction. Therefore, training variability was introduced as an extra factor. In the low-variability condition, eight training problems were clustered into four categories and presented as such. In the high-variability condition, training problems were presented in random sequences. The results revealed that bimodal training leads to lower levels of perceived cognitive load than unimodal training in both age groups. This effect was not reflected by the reaction times on the secondary task, however. Furthermore, a nearly-significant positive effect of training variability on performance was found for both age groups. However, there was no combined effect of training format and training variability in either age group. Again, the levels of experienced cognitive load were rather low. It was concluded that, although no effects were found that were exclusively advantageous for the elderly, the application of bimodal worked examples and the manipulation of training variability deserve further exploration, especially in less contrived problem domains.

Chapter 4 was a special chapter in that it explored the usefulness of pupillometry as an 'objective' measure of cognitive load. Since the 1950s it is known that the pupil dilates as a function of mental load. However, little research has been done on the cognitive pupillary response in elderly people. Therefore, the study described in this chapter explicitly addressed the question whether pupillometry is a useful measure of cognitive load in both young and elderly people. The level of cognitive load was varied by means of a memory-search task. In this task, participants were required to memorize sets of one to six digits. Subsequently, they were presented with a series of single-digit probes. For every probe, they had to decide as quickly as possible whether it was in the memory set or not. Thus, the critical events in this task were the presentation of the memory set, which initiated an encoding process, and the presentation of the probe, which initiated a search process. Three so-called task-evoked pupillary responses (TEPRs) were measured: mean dilation, peak dilation, and latency to the peak. Mean pupil dilation is the average dilation during a particular time window following a critical event. Peak dilation represents the largest pupil dilation during this period. Latency to the peak is the time that has elapsed between the onset of the critical event and the peak. These TEPRs typically intensify as a function of cognitive load. In this experiment, it was found that encoding larger memory sets leads to a larger mean pupil dilation in both age groups. The same effect was found for the search process, but only in the young participants. The absence of an effect in the elderly could have been due either to age-related cognitive resource limits or physiological constraints. Finally, no effects with respect to peak dilation and peak latency were found in either age group. It was concluded from this study that mean pupil dilation is a useful TEPR for measuring cognitive load in both young and elderly people.

In Chapter 6, finally, some general conclusions were drawn from the previous chapters. A first conclusion was that training formats based on cognitive load theory usually impose less cognitive load on the learner than conventional training formats. A second conclusion was that in spite of the difference in training load, these two approaches lead to a comparable level of performance. The favorable ratio between training load and performance makes CLT-based training formats the better choice in that they make a cost-effective use of the available mental resources. The central question to be answered was whether CLT-based training formats are particularly beneficial for elderly learners. It was concluded that the disproportional 'gain' in terms of experienced cognitive load found in Chapters 2 and 3 definitely make CLT-based formats a highly recommendable choice for this particular group. Moreover, the low levels of overall load suggest that germane cognitive load can still be raised in order to acquire performance effects. The study described in Chapter 5 suggested an effect in this direction. However, this finding needs further exploration.

Chapter 6 also provided a critical reflection on cognitive load theory and its associated research methods. The core issue of this chapter was that cognitive load theory incorporates specific claims concerning the role of cognitive load within an instructional context. That is, cognitive load is not simply considered as a by-product of the learning process, but as the major factor determining the success of an instructional intervention. It was argued that these theoretical claims require an empirical account of exactly how cognitive load relates to performance. It was asserted that this account has not yet been provided by CLT-research, including the research reported in this thesis. Suggestions and recommendations are given to consolidate the theoretical basis of cognitive load theory. An essential step in this direction is the application of two measures of cognitive load, which cancel out each other's drawbacks. For example, one could combine the sensitivity of a subjective rating scale with the objectivity of pupillometry. Furthermore, a thorough method is needed to disentangle intrinsic from extraneous, and extraneous from germane cognitive load. Two possibilities are task and verbal protocol analysis. It was stated that only a combination of empirical (i.e., measurement) and analytical methods could reveal the true mechanism behind the success of cognitive load theory.

Finally, the foregoing was put in perspective by conceding that one could uphold a more pragmatic approach. That is, one could be satisfied with the result that a CLT-based training format imposes less cognitive load on the learner, leads to advanced performance, and is thus more efficient than a conventional format without attaching importance to the underlying cognitive mechanism. It is concluded that choosing the pragmatic approach should definitely entail the pursuit of making the elderly catch up with the young.

Samenvatting

Het is allang geen nieuws meer dat de westerse maatschappij steunt op een hoogstaande en zich snel ontwikkelende technologie. Het is ook niet nieuw dat de westerse bevolking in hoog tempo aan het vergrijzen is. Onderzoek heeft aangetoond dat deze ontwikkelingen zowel in de professionele als in de niet-professionele sfeer een groeiende behoefte aan bijscholing met zich meebrengen. Deze constatering vormt de drijfveer achter dit proefschrift. Het ontwerpen van cursusmateriaal voor ouderen — dat wil zeggen mensen vanaf zestig jaar — vereist namelijk speciale aandacht, met name als het gaat om het leren van complexe vaardigheden, zoals het omgaan met een computer. Richtlijnen voor het ontwerpen van instructiemateriaal gericht op het leren van complexe vaardigheden zijn reeds ontwikkeld en getest op jongvolwassenen en kinderen. De basis voor deze richtlijnen is gelegd door theorieën als de cognitieve belastingtheorie (CBT). Talloze studies hebben aangetoond dat instructies, die zijn gebaseerd op de cognitieve belastingtheorie, tot betere leerresultaten leiden dan conventionele instructies. Ouderen vormden echter nooit een doelgroep binnen dit soort studies. Om dit gemis teniet te doen, is geprobeerd de cognitieve belastingtheorie te combineren met kennis die voortgevloeit uit cognitief verouderingsonderzoek.

De cognitieve belastingtheorie is gebaseerd op fundamentele kennis uit de cognitieve psychologie. De theorie wordt toegepast bij het ontwerpen van instructiemateriaal dat de cognitieve capaciteit van de lerende optimaal benut. Eén van de belangrijkste gegevens binnen de cognitieve psychologie is de beperking van de mentale verwerkingscapaciteit. Om precies te zijn: het menselijk werkgeheugen kan ongeveer zeven informatie-eenheden tegelijkertijd verwerken. Een ander belangrijk kenmerk van het werkgeheugen is dat het in verbinding staat met het lange-termijngeheugen. Hierin ligt informatie niet zozeer opgeslagen als een hoop losse elementen, maar veeleer als kluwens van elementen die een sterke relatie met elkaar hebben. Een voordeel van deze kluwens is dat ze door het werkgeheugen worden beschouwd als een geheel, dus als één enkel element. Ze besparen dus werkgeheugencapaciteit. Een laatste kenmerk van het werkgeheugen is dat het bestaat uit twee onafhankelijke opslagcomponenten — een visuele en een auditieve — die worden gecoördineerd door een centrale verwerkingseenheid. De centrale verwerkingseenheid is verantwoordelijk voor het bewust verwerken van informatie uit de twee opslagcomponenten en uit het lange-termijngeheugen.

Deze basale opvattingen over het werkgeheugen vormen het uitgangspunt van de cognitieve belastingtheorie. Binnen de cognitieve belastingtheorie wordt aangenomen dat een complexe vaardigheid bestaat uit elementen die sterk met elkaar zijn verbonden. Deze structuur zorgt voor een hoge zogenaamde "intrinsieke belasting." Om een complexe vaardigheid te leren, moet deze als een geheel in het lange-termijn-geheugen worden opgeslagen. Daarvoor moet de informatie wel eerst langs het nauwe pad van het werkgeheugen. Volgens de cognitieve belastingtheorie kan dit op een efficiënte manier gebeuren door het werkgeheugen niet te belasten onnodige activiteiten. Dit soort activiteiten zorgt namelijk voor een zinloze belasting, waardoor de overdracht van informatie van het werkgeheugen naar het lange-termijn-geheugen kan worden belemmerd. In plaats daarvan zou het werkgeheugen zich louter moeten bezighouden met activiteiten die ervoor zorgen dat onderling afhankelijke informatie-eenheden worden samengevoegd in de vorm van clusters of schema's. Informatie die is opgeslagen in de vorm van schema's stelt iemand in staat om problemen van een bepaalde categorie op te lossen. De kwaliteit van een schema bepaald het scala aan problemen dat iemand kan oplossen. Hoe uitgebreider een schema, des te breder is de waaier aan problemen die een persoon kan oplossen. Een uitgebreid schema kan een persoon zelfs in staat stellen om problemen op te lossen die hij of zij nog nooit eerder is tegenkomen. Dit fenomeen wordt ook wel "transfer" genoemd. Daarnaast kunnen cognitieve schema's worden geautomatiseerd. Het gebruik van geautomatiseerde schema's vergt slechts weinig bewuste verwerking en zorgt dus voor een verdere verlichting van het werkgeheugen. De belasting die geassocieerd wordt met het construeren van cognitieve schema's wordt ook wel "zinvolle belasting" genoemd.

Logischerwijs beweert de cognitieve belastingtheorie dat bij het leren van complex materiaal — materiaal dat een hoge intrinsieke belasting met zich meebrengt — de zinloze belasting zo klein mogelijk moet zijn en de zinvolle belasting zo hoog mogelijk. Daarbij moeten de capaciteitsgrenzen van de werkgeheugen uiteraard in acht worden genomen. Met andere woorden, de cognitieve belastingtheorie staat voor instructiemateriaal dat enerzijds voorkomt dat de lerende zich bezighoudt met onnodige mentale activiteit en anderzijds stimuleert dat mentale activiteit wordt ontplooid die bijdraagt aan de constructie van cognitieve schema's van hoge kwaliteit.

In Hoofdstuk 1 werd dit idee in verband gebracht met cognitieve veroudering. In dit proefschrift verwijst cognitieve veroudering naar veranderingen van het werkgeheugen die zich voordoen bij ouderen. Daaromtrent worden in de literatuur drie verschijnselen beschreven. Ten eerste lijkt de verwerkingscapaciteit van het werkgeheugen kleiner te worden bij ouderen. Ten tweede is er sprake van een algehele achteruitgang van de cognitieve verwerkingssnelheid. En ten derde blijken ouderen moeite te hebben

met het onderdrukken van irrelevante informatie, wat ten koste gaat van het verwerken van relevante informatie. Deze veranderingen beperken het vermogen van ouderen om nieuwe vaardigheden te leren. Het lijkt erop dat het smalle pad van het werkgeheugen bij ouderen nog veel smaller is geworden. In het eerste hoofdstuk werd betoogd dat de cognitieve belastingtheorie strategieën oplevert om deze leerbeperkingen te omzeilen. Omdat de cognitieve belastingtheorie de beperkingen van het werkgeheugen probeert te compenseren en deze beperkingen vooral een rol spelen bij ouderen, spreekt het voor zich dat CBT-gebaseerde instructievormen des te meer nut hebben voor deze specifieke groep. Tenslotte heeft het verlagen van zinloze cognitieve belasting een proportioneel groter effect op een oud dan op een jong persoon. Dit idee werd met verschillende CBT-gebaseerde trainingsvormen getoetst in de Hoofdstukken 2, 3 en 5.

In Hoofdstuk 2 werd de cognitieve efficiëntie van het bestuderen van uitgewerkte voorbeelden getoetst tegen de efficiëntie van het oplossen conventionele oefenproblemen. Binnen de cognitieve belastingtheorie worden uitgewerkte voorbeelden beschouwd als de hoeksteen van efficiënt leren. In conventionele trainingsmethoden spelen uitgewerkte voorbeelden echter een ondergeschikte rol. Onder het motto “oefening baart kunst” ligt de nadruk doorgaans op het oplossen van lange reeksen oefenproblemen. Uiteraard baart oefening uiteindelijk kunst, maar dit gaat niet automatisch op in een vroeg leerstadium. In een vroeg leerstadium beschikt de lerende namelijk nog niet over de nodige cognitieve schema's. Als lerenden in dit stadium dus worden geconfronteerd met een nieuw domein, dan beschikken ze over weinig voorkennis om problemen binnen dit domein op te lossen. Het gevolg is dat ze ieder detail van een probleem bewust moeten verwerken zonder daarbij geholpen te worden door bestaande cognitieve schema's. In deze situatie is de lerende gedwongen om een zogenaamde doel-middel-strategie toe te passen. Een doel-middel-strategie bestaat uit een achterwaartse en een voorwaartse fase. In de achterwaartse fase wordt een soort piramide van doelen en subdoelen geconstrueerd, beginnend bij de top. De top wordt gerepresenteerd door het hoofddoel van het probleem en de onderliggende lagen door de subdoelen. Deze fase stopt als een laag wordt bereikt met vervulbare subdoelen. Vanaf dat punt begint de voorwaartse fase van de doel-middel-strategie. In deze fase worden eerst de subdoelen in de onderste lagen opgelost, vervolgens de subdoelen in de hogere lagen en tenslotte het hoofddoel aan de top van de piramide. De combinatie van een voorwaartse en een achterwaartse fase maken de doel-middel-analyse een cognitief belastend proces. Daarbij komt dat slechts de helft van dit proces — de voorwaartse fase — nuttig is. In de voorwaartse fase wordt een probleemtoestand geassocieerd met de middelen die ervoor zorgen dat nieuwe probleemtoestanden en uiteindelijk het einddoel wordt bereikt. Dit is precies wat iemand moet leren bij het zich eigen maken van een nieuwe vaardigheid. Door uitgewerkte voorbeelden

te bestuderen, wordt de lerende gestimuleerd om zijn of haar mentale capaciteit uitsluitend aan het voorwaartse proces te besteden. Hierdoor wordt de zinloze belasting dus verminderd en de zinvolle belasting geoptimaliseerd. Het bestuderen van uitgewerkte voorbeelden zou daarom dus tot betere resultaten moeten leiden in termen van cognitieve belasting, schemaconstructie en transfer dan het oplossen van reeksen conventionele problemen.

Om deze hypothese te toetsen werd een experiment uitgevoerd. In dit experiment werden jongere en oudere deelnemers getraind in het oplossen van een gecomputeriseerde versie van zogenaamde water-jug problemen. Bij een water-jug (waterbeker) probleem is het de bedoeling dat een bepaalde hoeveelheid water wordt verkregen door bekers van verschillende grootte en met verschillende hoeveelheden water strategisch in elkaar over te schenken. Daarbij moesten een paar regels in acht worden genomen. Zo konden bekers met behulp van een kraan alleen volledig worden gevuld. Als een beker vol water in een kleinere beker werd overgeschonken, dan stopte het overschenken zodra de kleinere beker vol was en bleef er een residu over in de grotere beker. Hetzelfde gold voor een beker met een residu water dat groter was dan de vrije ruimte van een ontvangende beker. De residuen vormden vaak de basis voor een oplossing. De helft van de proefpersonen werd getraind door ze vier problemen zelf te laten oplossen (de conventionele conditie). Dat wil zeggen ze kregen de beginfase van een probleem te zien en moesten vervolgens zelf tot het doel zien te komen. De andere helft van de proefpersonen werd getraind door ze een uitgewerkte versie van deze zelfde problemen te laten bestuderen. Dat wil zeggen ze kregen niet alleen de beginfase van een probleem te zien maar ook de stappen die tot de oplossing leidden. De afzonderlijke probleemtoestanden werden voorzien van een verhelderende tekst. Na de training werden alle deelnemers geconfronteerd met een transfertest. Deze test bevatte zowel 'nabije' als 'verre' transferproblemen. De nabije transferproblemen waren varianten van de trainingsproblemen. De verre transferproblemen weken aanzienlijk af van de trainingsproblemen en vereisten meer denkstappen. De resultaten lieten zien dat ouderen de uitgewerkte voorbeelden als aanzienlijk minder belastend ervoeren dan de conventionele problemen. Bij beide leeftijdsgroepen werden echter geen prestatieverschillen gevonden op de transfertest. Met andere woorden, ouderen ervoeren minder cognitieve belasting bij het bestuderen van uitgewerkte voorbeelden terwijl ze minstens even goed scoorden op de transfertest als ouderen in de conventionele conditie. Geconcludeerd werd dan ook dat het bestuderen van uitgewerkte voorbeelden een efficiëntere trainingsmethode is voor ouderen dan het oplossen van conventionele problemen.

De efficiëntie van uitgewerkte voorbeelden werd nader onderzocht in Hoofdstuk 3. Het uitgangspunt van dit hoofdstuk was dat er talloze manieren zijn om uitgewerkte voorbeelden te presenteren. Eén van die ma-

nieren is een audiovisuele presentatie met behulp van multimedia. Een voordeel van een audiovisuele presentatie is dat de begeleidende tekst uit het visuele materiaal kan worden weggehaald en in plaats daarvan verbaal kan worden gepresenteerd. Op deze manier wordt de lerende niet gedwongen zijn of haar aandacht te splitsen tussen een diagram enerzijds en de bijbehorende tekst anderzijds. Zinloos visueel zoeken wordt dus tot een minimum beperkt. Bovendien maakt een audiovisuele presentatie gebruik van zowel de visuele als de auditieve component van het werkgeheugen. Het verdelen van informatie over beide componenten voorkomt overbelasting van één van de componenten. De voordelige verhouding tussen zinloze en zinvolle belasting zou van audiovisuele voorbeelden een efficiëntere trainingsvorm moeten maken ten opzichte van puur visuele voorbeelden en conventionele problemen. Om dit te testen, werden zowel jongere als oudere deelnemers getraind met behulp van audiovisuele voorbeelden, puur visuele voorbeelden en conventionele problemen. Het probleemdoain betrof ook hier weer het water-jug probleem. Uit de resultaten bleek dat audiovisuele voorbeelden efficiënter zijn dan conventionele problemen, omdat een lagere cognitieve belasting leidde tot een vergelijkbaar prestatieniveau op de transfertest. Er werden echter geen verschillen gevonden tussen conventionele problemen en puur visuele voorbeelden en tussen puur visuele voorbeelden en audiovisuele voorbeelden. Bovendien waren deze resultaten hetzelfde voor de jonge en oudere proefpersonen.

In Hoofdstuk 5 werd inhaakt op enkele procedurele problemen die voortkwamen uit Hoofdstuk 3. Ten eerste werd in het vorige experiment niet alleen een auditieve presentatievorm toegevoegd, maar was er ook een verschil in presentatietempo tussen de condities. In Hoofdstuk 3 werd het tempo binnen de puur visuele conditie namelijk bepaald door de deelnemer zelf, terwijl het tempo in de audiovisuele conditie door de computer werd bepaald. Een tweede probleem heeft betrekking op de presentatievorm van de uitgewerkte voorbeelden. Terwijl in de puur visuele voorbeelden sprake was van bewegingloze afbeeldingen, werden de audiovisuele voorbeelden in geanimeerde vorm weergegeven. Een derde probleem betrof het instrument voor het meten van cognitieve belasting. In alle voorgaande experimenten werd gebruik gemaakt van een subjectieve 9-punts-schaal, waarop de deelnemers zelf hun ervaren mentale belasting moesten scoren. Van subjectieve maten is echter bekend dat ze gevoelig zijn voor storende effecten, zoals sociale wenselijkheid. Dit is mogelijk de oorzaak van de nogal lage inschatting van de ervaren mentale belasting, die in de Hoofdstukken 2 en 3 in alle condities naar voren kwam. Als de oorzaak van deze lage inschatting niet was toe te schrijven aan een storend effect als sociale wenselijkheid, dan was er waarschijnlijk sprake van een te lage zinvolle cognitieve belasting.

Om de bovenstaande problemen het hoofd te bieden, werd een nieuw experiment uitgevoerd. Ten eerste werd het presentatietempo van de visu-

ele en de audiovisuele conditie aan elkaar gelijkgesteld door het tempo van beide presentatievormen door de computer te laten bepalen. Ten tweede werd de presentatievorm gelijkgesteld door in beide condities gebruik te maken van statische afbeeldingen. In de visuele conditie werden de afbeeldingen vergezeld door verhelderende tekst. In de audiovisuele conditie werd deze tekst verbaal gepresenteerd. Ten derde werd een nieuwe maat voor cognitieve belasting toegevoegd, namelijk de tweede-taak-methode. Bij deze methode wordt een primaire taak (in dit geval het bestuderen van uitgewerkte voorbeelden) vergezeld van een tweede taak met een lagere prioriteit. Deze tweede taak bestond uit het detecteren van een serie lichtsignalen, die op willekeurige tijdstippen werden gepresenteerd. Zodra een deelnemer een lichtsignaal ontwaarde, moest hij of zij zo snel mogelijk op een knop drukken. Het idee hierachter is dat de reactietijd (de tijd tussen het detecteren van een signaal en het drukken op de knop) een indicatie geeft van de ervaren cognitieve belasting. Dat wil zeggen hoe meer iemand in beslag wordt genomen door de primaire taak, des te langer wordt de reactietijd in de tweede taak. Tenslotte werd het probleem van de lage zinnvolle belasting opgelost door de variabiliteit van de trainingsproblemen op te voeren. Een grotere variabiliteit bevordert namelijk de diepgang van het leerproces. Als trainingsproblemen niet worden gegroepeerd in categorieën (lage variabiliteit), maar in willekeurige volgorde worden aangeboden (hoge variabiliteit), dan is de lerende gedwongen om elk trainingsprobleem opnieuw te analyseren. De kans op routine, en daarmee oppervlakkig leren, kan zo worden geminimaliseerd. Op deze manier zouden er betere cognitieve schema's moeten worden geconstrueerd. Variabiliteit werd daarom als extra factor aan het experiment toegevoegd. In een conditie met lage variabiliteit werden acht trainingsproblemen gegroepeerd in vier categorieën en als zodanig gepresenteerd. In een conditie met hoge variabiliteit werden dezelfde trainingsproblemen in willekeurige volgorde gepresenteerd. Uit de resultaten bleek dat audiovisuele voorbeelden bij beide leeftijdsgroepen tot een lagere cognitieve belasting leiden dan visuele problemen. Dit effect was echter niet terug te zien in de reactietijden. Verder werd een bijna significant effect gevonden van variabiliteit op de prestatie in beide leeftijdsgroepen: in de conditie met een hoge variabiliteit was de prestatie gemiddeld beter. In geen van de leeftijdsgroepen werd echter een gecombineerd effect gevonden van presentatievorm (visueel of audiovisueel) en variabiliteit. Bovendien was te gerapporteerde cognitieve belasting wederom bijzonder laag. Ondanks het ontbreken van een effect dat exclusief in het voordeel van de oudere deelnemers was, werd geconcludeerd dat het toepassen van audiovisuele presentatievormen en het manipuleren van trainingsvariabiliteit zeker nader onderzoek verdienen. Vooral in een minder kunstmatig probleemdomein zou dit tot interessante resultaten kunnen leiden.

Hoofdstuk 4 was een speciaal hoofdstuk, dat gericht was op de vraag of het meten van pupilverwijding kan worden gebruikt als objectieve maat voor cognitieve belasting. Reeds sinds de jaren vijftig is bekend dat de pupil verwijdt als functie van mentale belasting. Er is echter nog maar weinig onderzoek gedaan naar deze cognitieve pupilrespons bij ouderen. Met een experiment werd daarom geprobeerd een antwoord te geven op de vraag of pupillometrie een bruikbare maat is voor cognitieve belasting bij ouderen. Cognitieve belasting werd gemanipuleerd door middel van een zogenaamde "geheugen-zoek-taak." Bij deze taak was het allereerst de bedoeling dat deelnemers reeksen van één tot met zes cijfers uit hun hoofd leerden. Vervolgens kregen de deelnemers een serie losse cijfers te zien, waarvan ze achtereenvolgens zo snel mogelijk moesten beslissen of deze in de onthouden reeks voorkwamen of niet. De kritische momenten in deze taak waren enerzijds de presentatie van de cijferreeks, hetgeen een opslagproces inluidde, en anderzijds de presentatie van de losse cijfers, dat tot een zoekproces leidde. Tijdens deze taak werden drie zogenaamde taakgeïnduceerde pupilresponsen gemeten: de gemiddelde verwijding, de maximale verwijding en de tijd tot de maximale verwijding. De gemiddelde verwijding werd vastgesteld over een bepaalde periode volgend op een kritisch moment. De maximale verwijding was de grootste pupilverwijding gedurende deze periode. De tijd tot de maximale verwijding was de tijd tussen een kritisch moment en het optreden van het maximum. Onderzoek heeft aangetoond dat deze pupilresponsen groter worden bij een verhoogde cognitieve belasting. De resultaten van het experiment lieten zien dat de gemiddelde pupilverwijding bij zowel jongeren als ouderen toeneemt bij een verhoogde geheugenbelasting tijdens de opslagfase. Hetzelfde effect werd gevonden voor de zoekfase van de taak, maar in dit geval alleen bij de jongere deelnemers. De afwezigheid van een effect bij de oudere deelnemers kan te maken hebben gehad met de beperkingen van het werkgeheugen bij deze groep of met fysiologische beperkingen van de pupil. Verder werden nog bij de jongeren nog bij de ouderen effecten gevonden met betrekking tot de maximale pupilverwijding en de tijd tot het maximum. Geconcludeerd werd dat voor zowel jongeren als ouderen gemiddelde pupilverwijding een goede maat is voor cognitieve belasting.

In Hoofdstuk 6 tenslotte werden een paar algemene conclusies getrokken. Een eerste conclusie was dat trainingsvormen die zijn gebaseerd op de cognitieve belastingtheorie over het algemeen een lagere cognitieve belasting met zich meebrengen dan conventionele trainingsvormen. Ten tweede werd geconcludeerd dat, ondanks de verschillen in cognitieve belasting, de twee trainingsvormen tot een vergelijkbaar prestatieniveau leiden. De gunstige verhouding tussen cognitieve belasting en prestatie maakt CBT-gebaseerde trainingsvormen de betere keus, omdat ze een efficiënt gebruik maken van de beschikbare mentale capaciteit. De hamvraag was echter of CBT-gebaseerde trainingsvormen vooral voor ouderen een

gunstig effect hebben. Geconcludeerd werd dat de grotere effecten in termen van ervaren cognitieve belasting bij ouderen (zie de Hoofdstukken 2 en 3) een sterk argument vormen voor het aanbevelen van CBT-gebaseerde trainingsvormen voor deze groep. Bovendien suggereren de lage cognitieve belastingniveaus dat de zinvolle belasting verder verhoogd kan worden om effecten in prestatie 'af te dwingen.' Het experiment van Hoofdstuk 5 lijkt hiervoor een aanwijzing te geven. Meer zekerheid hierover vereist echter nader onderzoek.

In Hoofdstuk 6 werd tevens een kritische blik geworpen op de cognitieve belastingtheorie en de bijbehorende onderzoeksmethodologie. Het belangrijkste discussiepunt betrof de specifieke uitspraken, die de cognitieve belastingtheorie doet over de rol van mentale belasting bij het trainen van complexe vaardigheden. Cognitieve belasting wordt namelijk niet beschouwd als een bijproduct van het leerproces, maar als de bepalende factor voor het succes van een trainingsvorm. Betoogd werd dat deze theoretische beweringen een empirisch beschrijving vereisen van de invloed van cognitieve belasting op de prestatie. Geconstateerd werd dat een dergelijke beschrijving nog niet is geleverd, hetgeen ook geldt voor dit proefschrift. Daarom werden suggesties en aanbevelingen gedaan om de theoretische basis van de cognitieve belastingtheorie empirisch te versterken. Als een belangrijke stap hierbij werd het toepassen van twee verschillende maten voor cognitieve belasting voorgesteld. Deze zouden elkaars nadelen kunnen opheffen en elkaars voordelen kunnen aanvullen. Men zou bijvoorbeeld de gevoeligheid van een subjectieve schaal kunnen combineren met de objectiviteit van pupillometrie. Daarnaast zou er een goede methode moeten worden gevonden om intrinsieke, zinloze en zinvolle cognitieve belasting van elkaar te kunnen onderscheiden. Twee mogelijke methoden daarvoor zijn taak- en verbale protocolanalyse. Op grond hiervan werd betoogd dat alleen een combinatie van empirische en analytische methodes het exacte mechanisme achter het succes van de cognitieve belastingtheorie kunnen achterhalen.

Men zou echter ook een pragmatisch standpunt kunnen innemen door tevreden te zijn met het resultaat dat een CBT-gebaseerde trainingsvorm tot een lagere mentale belasting, een betere prestatie en dus een grotere efficiëntie leidt dan een conventionele trainingsvorm. Het achterliggende cognitieve mechanisme zou op die manier naar de achtergrond geschoven worden. Geconcludeerd werd dat als voor deze pragmatische benadering gekozen wordt, men op zijn minst moet proberen om de verschillen in prestatie, cognitieve belasting en efficiëntie tussen jongeren en ouderen te slechten.